

Hydrologische Auswirkungen des Globalen Wandels in den Westghats

Das Beispiel des Einzugsgebiets von Mula und Mutha (Maharashtra)

Durch den Einfluss des Monsuns ist das Wasserdargebot in weiten Teilen Indiens saisonal begrenzt. Demgegenüber steht ein starkes Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, das in einem steigenden Wasserbedarf resultiert. Saisonale Wasserknappheit und die daraus folgenden Einschränkungen im Alltag gehören schon heute zur Lebenswirklichkeit in Indien. Klima- und Landnutzungswandel könnten diese angespannte Situation in Zukunft insbesondere in der Trockenzeit weiter verschärfen.

Das hohe Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum Indiens führt einerseits zu einem steigenden Wasserbedarf, andererseits ist durch die mit dieser Entwicklung einhergehende Veränderung der Landnutzung und durch mögliche Auswirkungen des Klimawandels mit einer Veränderung des Wasserdargebots zu rechnen (Vörösmarty et al. 2010). Im letzten Jahrhundert wurde in Indien ein mittlerer Temperaturanstieg von 0,68°C verzeichnet (Lal 2003), der im Jahresverlauf besonders stark in der Zeit nach dem Sommermonsun und im Winter ausgeprägt ist (Cruz et al. 2007). Die beobachtete Entwicklung des jährlichen Niederschlags ist regional sehr unterschiedlich. Zwar zeigen weite Teile Indiens eine Abnahme der jährlichen Niederschlagssumme, im Norden wurden jedoch mit Ausnahme des Nordostens keine Veränderungen und im Südosten eine Zunahme des Niederschlags festgestellt (Jain und Kumar 2012).

Vor dem Hintergrund der in der Vergangenheit beobachteten Klimaentwicklung und der bereits bestehenden saisonalen Wasserknappheit sind Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung der Wasserressourcen von großer Relevanz. Bisherige Abschätzungen zur potentiellen Entwicklung der Wasserressourcen Indiens unter Bedingungen des Klimawandels zeigen jedoch kein einheitliches Bild, was im Wesentlichen auf die Vielfalt der zugrundegelegten Klimaszenarien, der verwendeten Modelle und der regionalen Schwerpunkte zurückzuführen ist. In vielen Regionen Indiens wird unter den Bedingungen des Klimawandels mit einer Abnahme des Abflusses gerechnet (Gosain et al. 2006, Mujumdar und Ghosh 2008). Insbesondere in der Himalaya-Region könnte der Klimawandel zu einer Abnahme der Wasserverfügbarkeit führen (Singh und Bengtsson 2005). Zudem wird überwiegend mit einer Zunahme und Verschärfung von Extremereignissen wie Trockenperioden und Hochwasserereignissen gerechnet (Akhtar et al. 2008, Gosain et al. 2006). Nur in einem Einzugsgebiet an der Ostküste Indiens wird erwartet, dass die Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen abnimmt (Mujumdar und Ghosh 2008). Insgesamt sind die potentiellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen Indiens regional sehr unterschiedlich, wie eine räumlich differenzierte Studie der größten indische Flusseinzugsgebiete zeigt (Gosain et al. 2011).

Auch der Landnutzungswandel in Indien zeigt ein sehr heterogenes Bild, wobei einige wesentliche Trends zu identifizieren sind. Dazu zählen eine verstärkte Urbanisierung (Chauhan und Nayak 2005), die Ausweitung landwirtschaftlicher Flächen (Jayakumar und Arockiasamy 2003) sowie der Verlust von Waldflächen (Jha et al. 2000). Urbanisierung und Entwaldung führen typischerweise zu einer Zunahme des Abflusses. Die Ausweitung landwirtschaftlicher Flächen und landwirtschaftliche Intensivierung resultieren hingegen in der Regel in einer Zunahme des Wasserbedarfs und -verbrauchs (Foley et al. 2005). Letzteres liegt vor allem an großflächigem Bewässerungsfeldbau, der



Foto 1: Oberlauf des Mula-Flusses

Foto: P.D. Wagner

den Anbau in die Trockenzeit verlängert und damit zu erhöhter Evapotranspiration führt. Das verdunstete Wasser, also das sogenannte grüne Wasser, ist einer folgenden Wassernutzung entzogen. Verschiedene szenarienbasierte Studien zeigen, dass die Wasserressourcen in Folge des Landnutzungswandels stärker beansprucht werden (Garg et al. 2012, Mishra et al. 2007, Wilk und Hughes 2002).

Untersuchungsgebiet

Das Einzugsgebiet der Flüsse Mula (vgl. Foto 1) und Mutha liegt in den indischen Westghats oberhalb der Millionenstadt Pune (18,53° Nord; 73,85° Ost; Fläche

2036 km²; vgl. Abb. 1). Die Flüsse fließen in Pune zusammen und entwässern nach Osten in den Golf von Bengalen, woraus sich die überregionale Bedeutung des Einzugsgebiets für die trockeneren, flussabwärts gelegenen Gebiete ergibt. Die Höhenzüge der Westghats erreichen eine Höhe von bis zu 1300 m, während Pune auf einer Höhe von 560 m liegt. Westlich des Einzugsgebiets fallen die Ghats steil zum Küstentiefland hin ab. Dies hat im Zusammenhang mit dem Südwest-Monsun einen starken Einfluss auf den Niederschlag im Einzugsgebiet, der von Westen (3500 mm im Jahr) nach Osten (750 mm im Jahr) abnimmt. Zudem sind die Niederschläge und damit das Wasserdargebot im Einzugsgebiet auf die Regenzeit von Juni bis Septem-

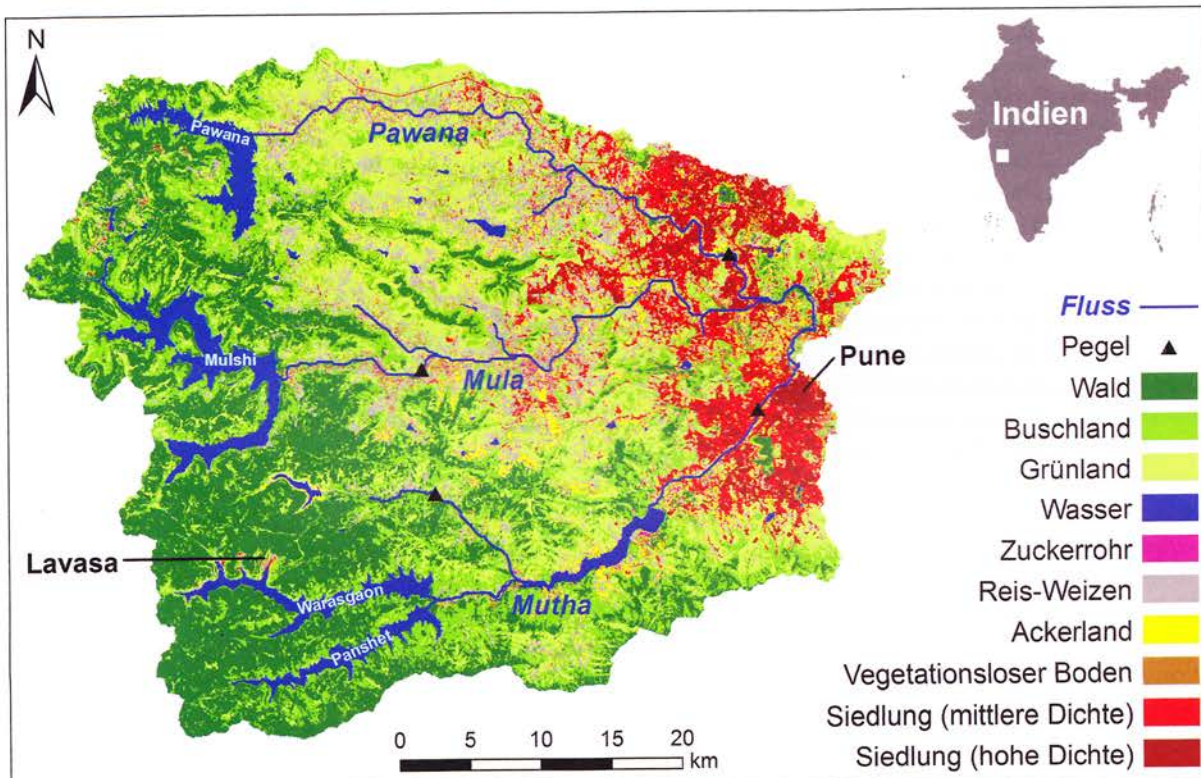


Abb. 1: Landnutzung des Einzugsgebiets im Jahr 2009/10

Datengrundlage: Wagner et al. 2013a

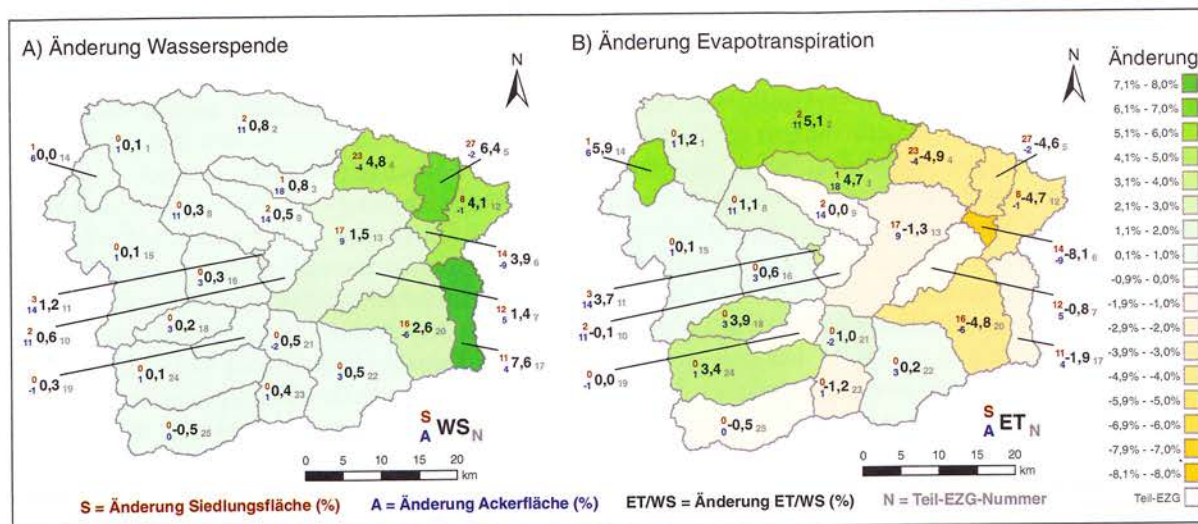


Abb. 2: Auswirkungen des vergangenen Landnutzungswandels auf Wasserspende (A) und Evapotranspiration (B) in den Teileinzugsgebieten des Untersuchungsgebiets

Quelle: Wagner et al. 2013a

ber begrenzt. Aufgrund der zeitlichen Disparität von Wasserdargebot und Wasserbedarf wird der Abfluss in mehreren großen Stauseen gespeichert (vgl. Abb. 1). Der Wasserbedarf im Einzugsgebiet steigt durch das kontinuierliche Bevölkerungswachstum Punes und die damit einhergehende wirtschaftliche Entwicklung der Region. Zudem führt der zunehmende Anbau bewässerungsintensiver Ackerfrüchte, wie z.B. Zuckerrohr, zu steigendem Wasserbedarf. Dies verschärft die Nutzungsproblematik zwischen Ober- und Unterliegern.

Modellierung der Auswirkungen von Klima- und Landnutzungswandel

Zur Analyse der Veränderungen des Wasserhaushalts aufgrund von Klima- und Landnutzungswandel werden üblicherweise hydrologische Modelle verwendet. In dieser Studie wurde zunächst ein hydrologisches Modell auf der Basis von gemessenen Daten erstellt und validiert. Anschließend wurde dieses Modell mit Daten eines Klimaszenarios sowie mit veränderten Landnutzungsdaten gespeist.

Den im Folgenden präsentierten Ergebnissen liegen Analysen mit dem Modell SWAT (Soil & Water Assessment Tool, Arnold et al. 1998) zugrunde (Wagner et al. 2011, 2012, 2013a, 2013b, 2014). SWAT erlaubt es, die wichtigsten hydrologischen Prozesse räumlich verteilt abzubilden, wobei überwiegend frei verfügbare Daten verwendet werden können. Letzteres ist eine Voraussetzung für die Modellanwendung in Indien, da die Datenverfügbarkeit dort meist begrenzt ist. Die folgenden Flächendaten wurden verwendet: Ein auf ASTER Satellitendaten basierendes digitales Höhenmodell, die FAO-Weltbodenkarte sowie aus Satellitendaten abgeleitete Landnutzungsinformationen. Meteorologische Daten und Abflussdaten wurden von den lokalen Behörden bezogen. Die Konsistenz dieser Messdaten wurde mit statistischen Verfahren geprüft und Datenlücken wurden gefüllt.

Eine verlässliche räumliche Repräsentation der Niederschlagsverteilung ist für eine erfolgreiche hydrologische Modellierung unerlässlich. Deshalb wurde ein für datenarme Gebiete geeignetes Regressions-Kriging-Verfahren entwickelt und angewandt. Dieses basiert auf monatlichen Semi-Variogrammen und Niederschlagsmustern aus Satellitendaten der *Tropical Rainfall Measuring Mission* (Wagner et al. 2012). Überdies wurde das Modell durch Parametrisierung und Weiterentwicklung von Modellkomponenten (insbesondere Pflanzenwachstum und Staudamm-Management) an das Monsunklima angepasst (Wagner et al. 2011, 2012).

Das auf diese Weise weiterentwickelte Modell wurde mit Tageswerten für den Abfluss in den Regenzeiten zwischen 2001 und 2007 an zwei Pegeln validiert (Wagner et al. 2012). Die Übereinstimmung der modellierten mit den gemessenen Werten wurde mit dem Nash-Sutcliffe-Modelleffizienzkoeffizienten bestimmt und zeigt an, wie gut die Prozesse im Einzugsgebiet durch das Modell abgebildet werden. Der Koeffizient hat einen Wertebereich von $-\infty$ bis 1, wobei ein positiver Koeffizient belegt, dass das Modell besser als eine Schätzung aus

dem Mittelwert der Messungen ist und der Maximalwert 1 einer exakten Übereinstimmung von Modellergebnissen und Messungen entspricht. Für das erstellte Modell liegt der Koeffizient an den beiden Pegeln bei 0,67 und 0,68, was einer guten Repräsentation entspricht. Zur Untersuchung des vergangenen Landnutzungswandels wurden drei multitemporale multispektrale Landnutzungsklassifikationen für die Jahre 1989/90, 2000/2001 und 2009/2010 erstellt (Wagner et al. 2013a).

Die in der Vergangenheit beobachteten Landnutzungsänderungen wurden mit Hilfe des Landnutzungsmodells SLEUTH (Silva und Clarke 2002) in die Zukunft projiziert. Das so erzeugte Szenario wurde mit Bebauungsplänen einer neugeplanten Stadt im Untersuchungsgebiet (Lavasa) kombiniert, um neben der Fortschreibung vergangener Beobachtungen auch neue Entwicklungen im Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen. Die Veränderungen der Landnutzung stellen – wie der Klimawandel – einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Wasserressourcen da. Diese Auswirkungen wurden mit SWAT untersucht.

Zur Abschätzung potentieller Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt wurden die Ergebnisse einer globalen Klimamodellierung (ECHAM5/MPIOM) zum IPCC-Szenario A1B (Nakićenović et al. 2000) mit einer regionalen Klimamodellierung (COSMO-CLM) kombiniert und mit einem abschließenden so genannten *Downscaling*-Verfahren auf die Einzugsgebietsskala übertragen (Wagner et al. 2013b), um die notwendigen meteorologischen Eingangsdaten für das Modell SWAT zu erzeugen. Im Fokus der Untersuchung standen neben der Veränderung der Evapotranspiration die Veränderung der Speicherinhalte der Stauseen im Zeitraum 2020 bis 2079. Letzteres ermöglicht eine integrative Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen.

Auswirkungen des Landnutzungswandels

Die Untersuchung des Landnutzungswandels in den vergangenen 20 Jahren anhand von drei Zeitscheiben (1989/90, 2000/01, 2009/10) zeigt eine Zunahme von Siedlungsflächen (+5,1 Prozentpunkte, pp) und landwirtschaftlichen Flächen (+3,7 pp) im Einzugsgebiet. Diese Zuwächse gehen auf Kosten der naturnahen Flächen Wald, Buschland und Grünland (-9,1 pp). Mit dem Modell SLEUTH wurde eine Zukunftsprojektion erstellt, die eine Fortschreibung der in der Vergangenheit beobachteten Urbanisierung (+7,9 pp) zwischen 2009 und 2028 zeigt. Eine Trendumkehr wurde hingegen bei der landwirtschaftlichen Nutzfläche projiziert, die bis 2028 zurückgeht (-3,6 pp). Dies ist vor allem auf eine Verdrängung siedlungsnaher Ackerflächen durch Siedlungsflächen zurückzuführen. Des Weiteren werden naturnahe Flächen in Siedlungsraum umgewandelt und nehmen insgesamt um 4,3 pp ab (Wagner et al. 2013a, 2015).

In einzelnen Teileinzugsgebieten führt der Landnutzungswandel zu ausgeprägten Veränderungen des Wasserhaushalts, während sich die Effekte auf der Skala des gesamten Einzugsgebiets ausgleichen. Die Zunahme der Siedlungsfläche führte zu einer Zunah-

me des Abflusses aus dem Einzugsgebiet insbesondere in der Regenzeit und einer Abnahme der Evapotranspiration. Die beobachtete Zunahme der Ackerfläche in der Vergangenheit resultierte hingegen in einem stärkeren Wasserverbrauch durch den Anstieg der Evapotranspiration und in einer Abnahme des Abflusses insbesondere in der Trockenzeit. Die Abb. 2A und 2B zeigen die Veränderungen der Wasserspende (Wassermenge je Teileinzugsgebiet, die zum Abfluss des Vorfluters beiträgt) und der Evapotranspiration zwischen 1989 und 2008 für die einzelnen Teileinzugsgebiete: Im östlichen Teil des Einzugsgebiets am Rand der Stadt Pune führen die Zunahme urbaner Flächen und das zum Teil abnehmende Ackerland zu einer Zunahme der Wasserspende und einer Abnahme der Evapotranspiration. Die deutlicheren Zunahmen von bewässertem Ackerland im mittleren nördlichen Teil des Einzugsgebiets resultieren in einer Zunahme der Evapotranspiration (Wagner et al. 2013a).

Die für die Zukunft projizierte Abnahme von Ackerland bewirkt hingegen einen geringeren Wasserverbrauch mit weniger Evapotranspiration insbesondere in der Trockenzeit und einer höheren Abflussspende. Die zeitlich höher aufgelöste Untersuchung zeigt überdies, dass die Urbanisierung eine Zunahme des Abflusses am Anfang der Regenzeit bewirkt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die mit der Urbanisierung einhergehende Flächenversiegelung größere Auswirkungen auf den Abfluss hat, wenn die Böden – wie am Anfang der Trockenzeit – besonders aufnahmefähig sind (Wagner et al. 2014).

Somit steigt das Hochwasserrisiko in Folge der Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen besonders am Anfang der Regenzeit. Außerdem bedeutet die Zunahme des Abflusses aus dem Einzugsgebiet in der Regenzeit, dass den Unterliegern mehr Wasser in einer Jahreszeit zur Verfügung steht, in der das Wasserdargebot in der Regel ausreichend ist. Der für die Zukunft projizierte Landnutzungswandel, spiegelt mit dem Rückgang von Ackerflächen in Folge der Ausweitung von Siedlungsraum und Verkehrsflächen eine bekannte Entwicklung in den Schwellen- und Entwicklungsländern (Döös 2002) wider. Der Rückgang bedeutet zwar einen geringeren

Wasserverbrauch durch die Landwirtschaft, hat aber negative Konsequenzen für die Nahrungsmittelversorgung, die durch den Wegfall siedlungsnaher Ackerflächen und den steigenden Bedarf durch die wachsende Bevölkerung Punes unter Druck gerät.

Auswirkungen des Klimawandels

Die Temperaturentwicklung im verwendeten Klimaszenario wird durch eine stetige Zunahme gekennzeichnet (0,29°C bzw. 0,25°C Zunahme in mittlerer Maximum- bzw. Minimumtemperatur pro Jahrzehnt), während es keinen signifikanten Trend in den jährlichen Niederschlagsdaten gibt (5 % Signifikanzniveau). Die Variabilität des Niederschlags nimmt im Verlauf des Szenarios jedoch zu und extrem feuchte Jahre treten in den letzten 20 Jahren des Szenarios häufiger auf.

Die Auswirkungen des Klimaszenarios auf die Wasserressourcen des Einzugsgebiets lassen sich anhand des Speicherinhalts der Dämme am Ende der Regenzeit integrativ betrachten (vgl. Abb. 3). In den Jahren 1989 bis 2008 reicht die jährliche Niederschlagsmenge in der Regel zum Füllen der Dämme aus. Unter der Annahme, dass das Management der Dämme nicht verändert wird, zeigt das Szenario, dass Speicherdefizite in Zukunft häufiger auftreten und extremer sind als im Beobachtungszeitraum (10-50 %, Abb. 3). Da der Speicherinhalt am Ende der Regenzeit die Wasserverfügbarkeit in der darauffolgenden Trockenzeit definiert, deutet das Szenario auf Probleme bei der Deckung des zukünftigen Wasserbedarfs in solchen Jahren hin. Dies betrifft die Trinkwasserversorgung von Pune, die Energieversorgung von Mumbai (da der Mulshi-Stausee, der größte Stausee im Einzugsgebiet, ein Wasserkraftwerk speist) sowie die Bewirtschaftung bewässerungsintensiver Ackerfrüchte wie z.B. Zuckerrohr, die auf eine durchgehende Bewässerung in den Trockenmonaten angewiesen sind. Die steigenden Temperaturen im Szenario führen zu einer stetigen Zunahme der Evapotranspiration. In allen zukünftigen 20-Jahres-Szenariozeiträumen ist die mittlere Evapotranspiration signifikant höher als im Beobachtungszeitraum (5 % Signifikanzniveau).

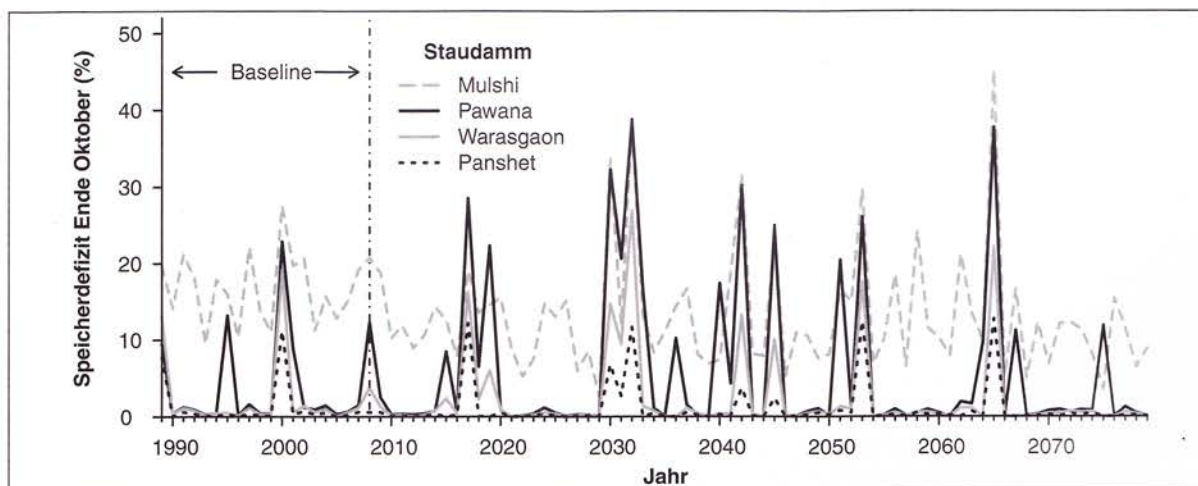


Abb. 3: Auswirkungen des Klimawandels auf das Speicherdefizit der größten Stauseen im Untersuchungsgebiet am Ende der Regenzeit

Datengrundlage: Wagner et al. 2013b

Außerdem zeigt eine monatliche Betrachtung, dass die höheren Temperaturen und die daraus resultierende höhere Evapotranspiration zu einer schnelleren und früheren Reduzierung des verfügbaren Wassers in der Trockenzeit führt (Wagner et al. 2013b).

Fazit

Die Entwicklungen im Einzugsgebiet der Flüsse Mula und Mutha zeigen exemplarisch, wie Klima- und Landnutzungswandel die Wasserressourcen in Indien beeinflussen. Sowohl der Klimawandel als auch der von der Urbanisierung angetriebene Landnutzungswandel führen zu jahreszeitlichen Veränderungen von Wasserspende und Evapotranspiration. Insbesondere auf der Teileinzugsgebietsskala werden die Auswirkungen des Landnutzungswandels deutlich. Der Landnutzungswandel kann lokal ebenso starke, wenn nicht sogar stärkere Auswirkungen im Vergleich zum Klimawandel haben. Die Zunahme der Wasserspende in Folge des Baus der neuen Stadt Lavasa in den Westghats belegt dies deutlich.

Das Management der Ressource Wasser ist eine zunehmende Herausforderung in Indien. Der im Untersuchungsgebiet beobachtete Landnutzungswandel (Urbanisierung, Veränderung landwirtschaftlicher Flächen) spiegelt ähnliche Tendenzen im ganzen Land wider. Im Gegensatz zu anderen Teilen Indiens verfügt das Untersuchungsgebiet saisonal über relativ hohe Wasserressourcen, die in lokalen Stauseen gespeichert werden. Damit ist die Trinkwasserversorgung von Pune weitgehend gesichert. Dennoch sind nicht alle Staudämme in öffentlicher Hand und dienen unterschiedlichen Nutzergruppen und Anwendungen (Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Trinkwasserversorgung). Eine Verminderung der Ressource Wasser durch den Globalen Wandel, wie sie insbesondere als Folge des Klimawandels in der Trockenzeit zu erwarten ist, vergrößert das Konfliktpotential zwischen den verschiedenen Nutzergruppen. Überdies sind auch die Unterlieger Punes auf eine ausreichende Versorgung aus den niederschlagsreichen Westghats angewiesen. Im gesamtindischen Kontext könnten bestehenden Wassernutzungskonflikte zwischen den indischen

Bundesstaaten durch eine Verknappung der Ressource Wasser verschärft werden. Ein nachhaltiges, über Verwaltungsgrenzen hinausgehendes Flussgebietsmanagement kann dazu beitragen, solche negative Konsequenzen zu vermeiden oder abzuschwächen. ■■■

LITERATUR

- Akhtar, M., N. Ahmad und M.J. Booij (2008): The impact of climate change on the water resources of Hindukush-Karakorum-Himalaya region under different glacier coverage scenarios. *Journal of Hydrology* 355 (1-4), S. 148-163
- Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah und J.R. Williams (1998): Large area hydrologic modeling and assessment – Part 1: Model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34, S. 73-89
- Chauhan, H.B. und S. Nayak (2005): Land use/land cover changes near Hazira Region, Gujarat using remote sensing satellite data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 33, S. 413-420
- Cruz, R.V., H. Harasawa, M. Lal, S. Wu, Y. Anokhin, B. Punsalma, Y. Honda, M. Jafari, C. Li und N. Huu Ninh (2007): Asia. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden und C.E. Hanson (Hrsg.): Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, S. 469-506
- Döös, B.R. (2002): Population growth and loss of arable land. *Global Environmental Change* 12, S. 303-311
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty und P.K. Snyder (2005): Global consequences of land use. *Science* 309 (5734), S. 570-574
- Garg, K.K., L. Karlberg, J. Barron, S.P. Wani und J. Rockstrom (2012): Assessing impacts of agricultural water interventions in the Kothapally watershed, Southern India. *Hydrological Processes* 26, S. 387-404
- Gosain, A.K., S. Rao und A. Arora (2011): Climate change impact assessment of water resources of India. *Current Science* 101 (3), S. 356-371
- Gosain, A.K., S. Rao und D. Basuray (2006): Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins. *Current Science* 90 (3), S. 346-353
- Jain, S.K. und V. Kumar (2012): Trend analysis of rainfall and temperature data for India. *Current Science* 102, S. 37-49
- Jayakumar, S. und D. Arockiasamy (2003): Land use/land cover mapping and change detection in part of Eastern Ghats of Tamil Nadu using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 31, S. 251-260
- Jha, C.S., C.B.S. Dutt und K.S. Bawa (2000): Deforestation and land use changes in Western Ghats, India. *Current Science* 79, S. 231-238
- Lal, M. (2003): Global climate change: India's monsoon and its variability. *Journal of Environmental Studies and Policy* 6, S. 1-34
- Mishra, A., S. Kar und V.P. Singh (2007): Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield. *Water Resources Management* 21, S. 1899-1913
- Mujumdar, P.P. und S. Ghosh (2008): Modeling GCM and scenario uncertainty using a possibilistic approach: Application to the Mahanadi River, India. *Water Resources Research* 44, W06407, S. 1-15
- Nakićenović, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor und Z. Dadi (2000): Special report on emissions scenarios. A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge
- Silva, E.A. und K.C. Clarke (2002): Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems* 26(6), S. 525-552
- Simonovic, S.P. (2002): World water dynamics: global modeling of water resources. *Journal of Environmental Management* 66, S. 249-267
- Singh, P. und L. Bengtsson (2005): Impact of warmer climate on melt and evaporation for the rainfed, snowed and glaciated basins in the Himalayan region. *Journal of Hydrology* 300 (1-4), S. 140-154
- Vörösmarty, C.J., P.B. McIntyre, M.O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S.E. Bunn, C.A. Sullivan, C. Reidy Liermann und P.M. Davies (2010): Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467, S. 555-561

SUMMARY

Hydrologic Impacts of Global Change in the Western Ghats. A Case Study of the Catchment Areas of the Rivers Mula and Mutha (Maharashtra)

by Paul D. Wagner, Peter Fiener, Karl Schneider

Climate and land use change have a large potential to exacerbate water scarcity in India. The Western Ghats are an area of high seasonal rainfall feeding major river systems that drain towards the drier regions of the eastern Peninsular. While water availability is relatively high, water demands are increasing due to population growth and socio-economic development in the region. Exemplarily, the impacts of climate and land use change on the water resources in the Mula and Mutha Rivers catchment upstream of the dynamically developing city of Pune are presented. The results show that global change may lead to a decrease of water resources in the study area, particularly in the dry season.

- Wagner, P.D., S. Kumar, P. Fiener und K. Schneider (2011): Hydrological modeling with SWAT in a monsoon-driven environment - experience from the Western Ghats, India. *Transactions of the ASABE* 54, S. 1783-1790
- Wagner, P.D., P. Fiener, F. Wilken, S. Kumar und K. Schneider (2012): Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology* 464-465, S. 388-400
- Wagner, P.D., S. Kumar und K. Schneider (2013a): An assessment of land use change impacts on the water resources of the Mula and Mutha Rivers catchment upstream of Pune, India. *Hydrology and Earth System Sciences* 17, S. 2233-2246
- Wagner, P.D., T.G. Reichenau, S. Kumar und K. Schneider (2013b): Development of a new downscaling method for hydrologic assessment of climate change impacts in data scarce regions and its application in the Western Ghats, India. *Regional Environmental Change*, S. 1-13; doi: 10.1007/s10113-013-0481-z
- Wagner, P.D., S.M. Bhallamudi, B. Narasimhan, L. Kantakumar, K.P. Sudheer, S. Kumar, K. Schneider und P. Fiener (2015): Modeling future impacts of dynamic land use change on catchment hydrology in India. Eingereicht
- Wilk, J. und D.A. Hughes (2002): Simulating the impacts of land-use and climate change on water resource availability for a large south Indian catchment. *Hydrological Sciences Journal* 47, S. 19-30

AUTOREN

Dr. PAUL D. WAGNER, geb. 1982
paul.wagner@fu-berlin.de
Institut für Geographische Wissenschaften, Freie
Universität Berlin, Malteserstraße 74-100, 12249 Berlin

Professor Dr. PETER FIENER, geb. 1969
peter.fiener@geo.uni-augsburg.de
Institut für Geographie, Universität Augsburg, 86135 Augsburg

Professor Dr. KARL SCHNEIDER, geb. 1960
karl.schneider@uni-koeln.de
Geographisches Institut, Universität zu Köln,
Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln

Die Autoren danken der Studienstiftung des deutschen Volkes und dem Deutschen Akademischen Auslandsdienst für die finanzielle Förderung sowie den indischen Kooperationspartnern Shemita Kumar (BVIER) und B.S. Murty (IIT Madras) für die Unterstützung der Forschungsprojekte, die diesem Beitrag zugrunde liegen.

IMPRESSUM

Herausgeber und Verlag:

Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg
Schöningh Winklers GmbH
Georg-Westermann-Allee 66
38104 Braunschweig
Telefon (05 31) 70 80
Internet: <http://www.westermann.de>

Redaktion:

Reiner Jüngst (v.i.S.d.P.)
Telefon (05 31) 70 83 85, Telefax (05 31) 70 83 74
E-Mail: gr@westermann.de
Internet: <http://www.geographischerundschau.de>

Satz + Gestaltung:

Integra, Pondicherry (INDIEN)

Redaktionsbeirat:

Professor Dr. Boris Braun, Geographisches Institut,
Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln
Professor Dr. Christoph Dittrich, Geographisches Institut,
Universität Göttingen, Goldschmidtstraße 5, 37077 Göttingen
Professor Dr. Martin Doevenspeck, Lehrstuhl für raumbezogene
Konfliktforschung, Universität Bayreuth, 95440 Bayreuth
Professor Dr. Jürgen Herget, Geographisches Institut,
Universität Bonn, Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn

Bereich Fachzeitschriften:

Bernd Bredemeyer
Produkt Marketing: Linda Fechner, Christina Schlegel

Anzeigen und Vertrieb:

BMS Bildungsmedien Service GmbH
Georg-Westermann-Allee 66
38104 Braunschweig
Leitung: Peter Knip
Abo-Betreuung: Marlis Hampel, Petra Klein, Stefanie Scharf
Tel.: (05 31) 7 08 86 31, Telefax (05 31) 7 08 61 7
E-Mail: abo-bestellung@westermann.de
Anzeigenverkauf: Marlies Schirmer,
Tel.: (05 31) 7 08 83 37, Telefax (05 31) 7 08 87 83 37
E-Mail: marlies.schirmer@bms-verlage.de

Vertrieb:

Karin Pusz, Telefon (05 31) 7 08 83 06
E-Mail: karin.pusz@bms-verlage.de
Telefax (05 31) 7 08 87 83 06

Gesamtherstellung:

westermann druck GmbH
Georg-Westermann-Allee 66, 38104 Braunschweig
Telefon (05 31) 70 80, Telefax (05 31) 79 65 69

Erscheinungsweise und Bezugsbedingungen:

Jeweils zum Monatsanfang, das Heft 7/8 (als Doppelausgabe) zur Mitte des Monats. Abonnementpreis jährlich 93,50 € [Deutschland] / 95,70 € [Österreich] / 141,90 CHF. Für Studierende 65,45 € [Deutschland] / 67,10 € [Österreich] / 97,90 CHF. Preise zuzüglich Versandkosten je Heft von 1,60 € [Deutschland] / 1,65 € [Österreich] / 2,80 CHF. Für Schulen und Institutionen 140,25 € [Deutschland] / 144,10 € [Österreich] / 207,90 CHF zuzüglich Versandkosten. Einzelhefte 15,00 € [Deutschland] / 15,40 € [Österreich] / 18,50 CHF, zuzüglich Versandkosten. In den Bezugspreisen sind 7 % Mehrwertsteuer [Deutschland] enthalten. Der Jahresabonnementpreis wird nach Lieferung der ersten Heftausgabe in Rechnung gestellt (Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten). Bestellungen an den Buch- und Zeitschriftenhandel oder an BMS Bildungsmedien Service GmbH, Postfach 3320, 38023 Braunschweig. Der Bezugszeitraum beträgt – zunächst 1 Jahr und verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, wenn nicht spätestens 6 Wochen vor Beendigung des Bezugszeitraums schriftlich gekündigt wird.

Alle Rechte vorbehalten. Ein Nachdruck darf nur mit vorheriger Einwilligung des Verlages erfolgen.

Anzeigenpreise:

Preisliste Nr. 52 vom 1. 1. 2015

Buchbesprechungen:

Unverlangt eingesandte Rezensionsexemplare können nicht zurückgesandt werden.

Beilagenhinweis:

Die vorliegende Ausgabe unserer Zeitschrift enthält folgende Beilagen:
Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg
Schöningh Winklers GmbH (Teilbeilage);

ISSN 0016-7460